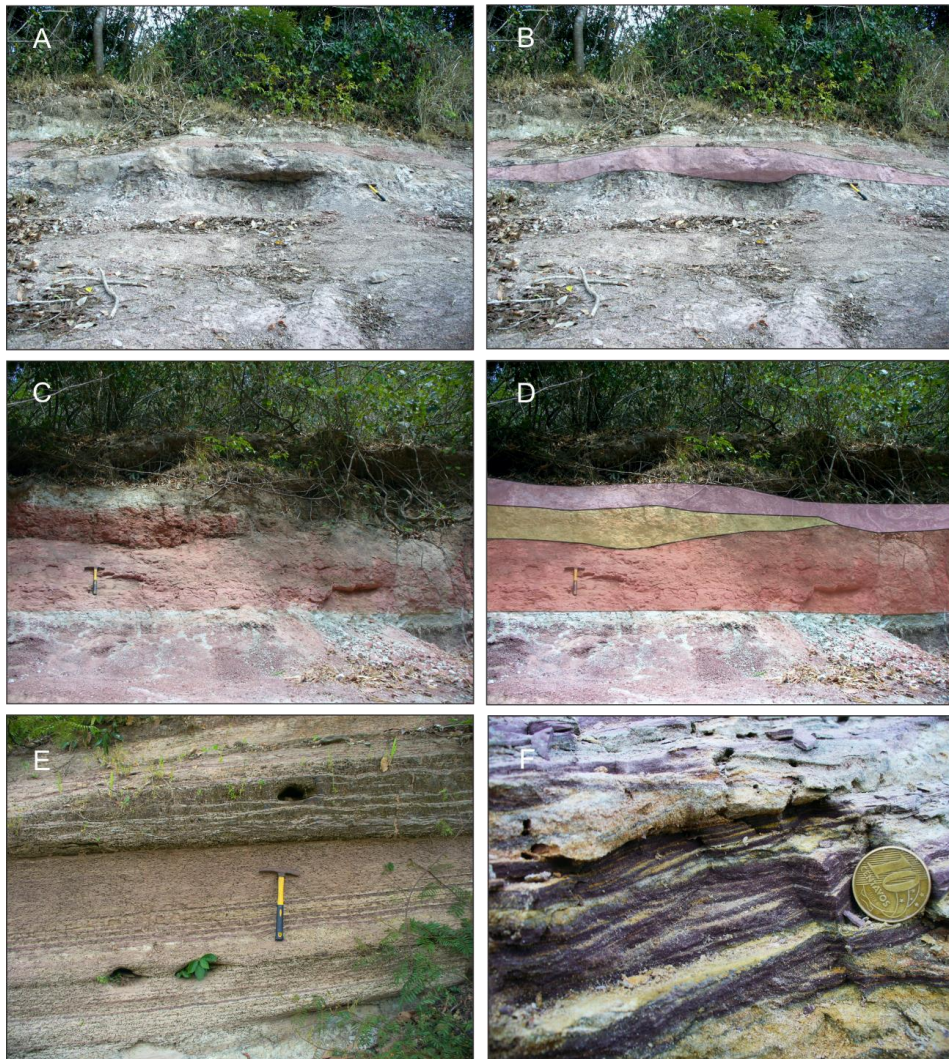


## 5 RESULTADOS

### 5.1 Depósitos sedimentares

Camadas sedimentares ocorrem intercaladamente a paleossolos em todos os perfis estudados (Figura 9). A descrição dos depósitos sedimentares foram realizadas por meio de feições macro e micromorfológicas, objetivando compreender a dinâmica deposicional dos corpos em uma planície aluvial. Foram diferenciadas depósitos em três afloramentos estudados.

Figura 9 – Afloramento Pequí:



Legenda: A, B) Depósito de Crevasse; Afloramento Jundiaí: C, D) Lençol de areia; Afloramento Guanaré: E, F) Depósitos Heterolíticos.

Fonte: Menezes, 2018

### 5.1.1 Camadas de arenito muito fino com laminação plano-paralela

Os depósitos de arenito muito fino com laminação plano-paralela estão presentes em três perfis dos quatro estudados. No afloramento Pequí, a camada é texturalmente constituída de arenitos muito finos a finos, moderadamente selecionados, com baixa esfericidade, variando de subangulosos a subarredondados. A petrografia apresenta empacotamento frouxo, com contatos pontuais e retos e suportados pelos grãos. Concentração de argilas de iluviação, porém se mostra pouco presente e pontual por toda a camada. A cimentação é pontual e incipiente, composta por carbonato de cálcio e óxido de ferro, ocorrendo próxima de tubos de invertebrados. A composição primária dos arenitos exhibe grãos de quartzo monocristalinos com extinção ondulante e reta, grãos de k-feldspato e plagioclásio (respectivamente, microlina e albita), grãos opacos e bioclastos constituídos por fragmentos de ossos, gastrópodes e bivalves. Foi atribuído o nome composicional à rocha, classificada como um arenito subarcósio. Geometricamente, as camadas são dispostas em forma côncava de topo plano e base erosiva, e continuidade lateral limitada. Laminações plano-paralelas pouco desenvolvidas e inscientes e nódulos de carbonato de cálcio e de ferro são frequentes por toda a camada. A interpretação para este depósito está relacionada a um espraiamento de crevasse (Figuras 9A, 9B).

Os depósitos sedimentares do afloramento Jundiáí mostram os mesmos parâmetros texturais e composicionais, contudo os estratos foram separados em três camadas de arenito muito fino com geometria tabular, superfície erosiva rastreável lateralmente com profundidade de escavação de 10 centímetros. Laminações plano-paralelas de espessura entre 1 a 2 milímetros são frequentes, mas pouco desenvolvidas. Nódulos de carbonato de cálcio arredondados ou irregulares e duros ocorrem dispersos por todas as camadas. Fragmentos de ossos e gastrópodes ocorrem dispersos tanto nas camadas sedimentares como nos paleossolos. Os gastrópodes são recristalizados por calcita espática e gipsita e seu interior é preenchido por areia muito fina, pequenos agregados de argila e nódulos de ferro e cimentados por calcita microcristalina e óxido de ferro. Além de estar presente nos gastrópodes, a gipsita também ocorre associada a tubos de invertebrados. A interpretação proposta para a associação de camadas tabulares de arenito muito

fino e laminações plano-paralelas cobrindo os paleossolos são de lençóis de areia ocorrentes em períodos de extravasamento do canal principal pela variação na descarga do fluxo (Figura 9C, 9D).

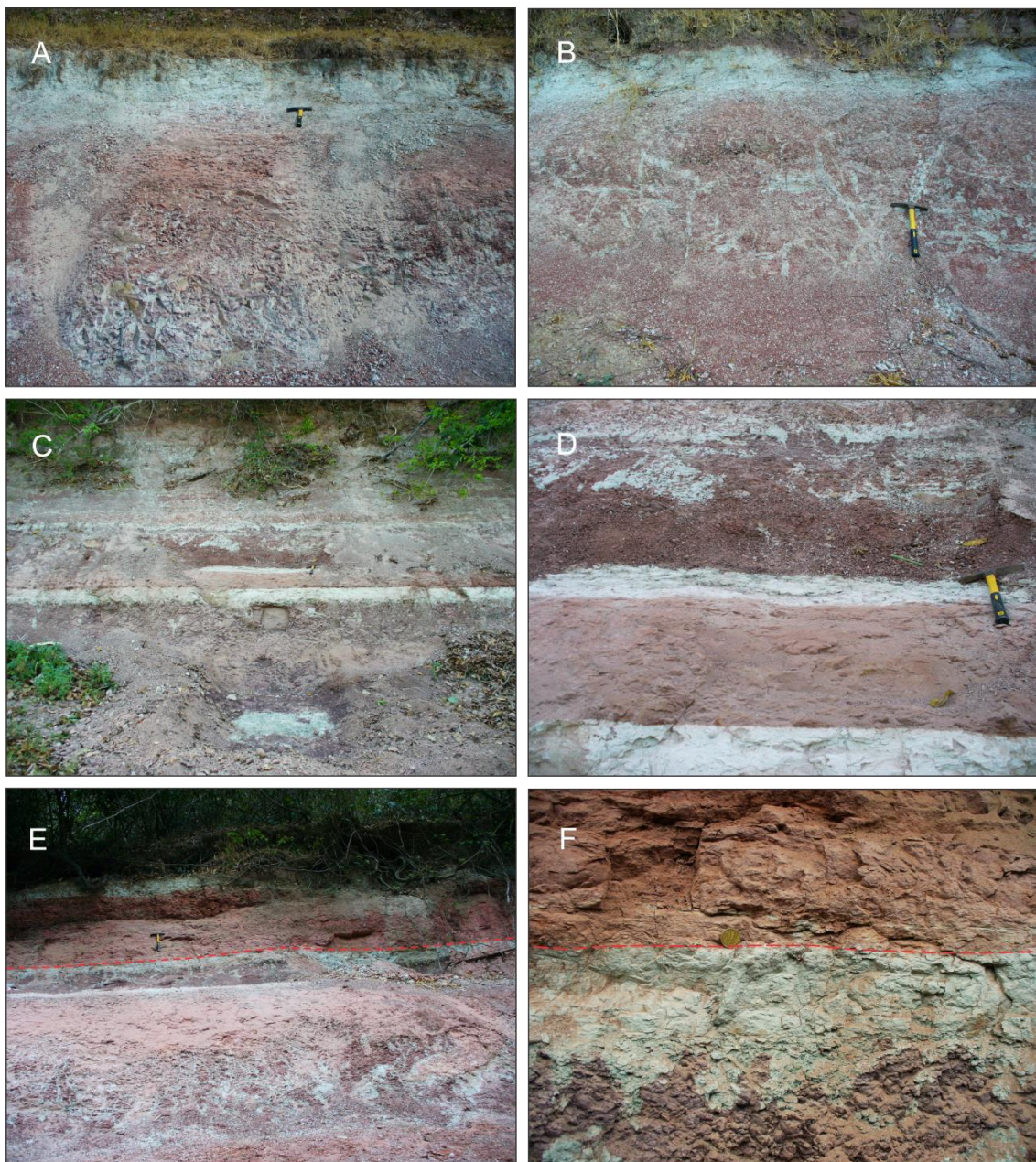
### 5.1.2 Depósitos heterolíticos

O corpo apresenta espessura de 1,5 metros, com alternâncias milimétricas de arenitos muito finos e lamitos vermelho escuro. Os arenitos muito finos são formados por clastos subangulosos, com baixa esfericidade, moderadamente selecionados, com continuidade e apresentam pegadas de vertebrados. Os níveis de lama apresentam cor vermelho escuro e sua espessura varia de milímetros a centímetros. Os depósitos heretolíticos encontram-se em contato com paleossolos; próximo a estes, apresentam feições de exposição subaérea, como variação de cores devido à remobilização do ferro e estruturas pedogênicas. Desta forma, a interpretação para este depósito está relacionada a depósitos finos de extravasamento de canais e deposição em planície de inundação (Figuras 9E, 9F).

## 5.2 **Paleossolos aluviais**

Os paleossolos foram identificados e subdivididos em horizontes segundo suas características diagnósticas com base nos trabalhos de Catt (1990) e Retallack (2001). Os horizontes apresentam perfis bem desenvolvidos com características morfológicas de pedogênese moderada a alta, em perfis compostos, enterrados e exumados (Figura 10). Os paleossolos mostram-se presentes em todos os perfis estudados, entretanto no afloramento Guanaré foram somente analisados os depósitos sedimentares dada a inexpressividade do registro paleopedológico. A espessura dos paleossolos é superior às sucessões sedimentares e sua frequência em relação aos afloramentos estudados é de 2:3.

Figura 10 - Afloramento Pequí



Legenda: A, B) Paleossolos múltiplos e bem desenvolvidos; Afloramento Jundiáí: C, D) Paleossolos compostos, moderados a bem desenvolvidos; Afloramento Guanaré: E, F) Paleossolos compostos bem desenvolvidos.

Fonte: Menezes, 2018

### 5.2.1 Paleossolos Pequí

Os paleossolos são constituídos por cinco horizontes de composição arenosa e lamosa, e espessura total de 2,7 metros. O contato entre os horizontes é transicional gradual ou claro e a superfície que limita os horizontes é ondulada ou irregular; as cores dos horizontes variam de cinza esverdeado claro (10Y 8/1), vermelho úmido (7,5R 4/6) e roxo (5R 4/3). Estruturas pedogênicas de blocos subangulares a angulares, tamanho médio a grande e fortes, revestimento de manganês, cutans, mosqueamentos de cor cinza esverdeado claro (10Y 8/1) e amarelo (2,5 Y 7/8) e bioturbações constituem as principais estruturas dos paleossolos. Além dessas, são encontrados fragmentos de ossos de vertebrados, bivalves articulados e gastrópodes (Figuras 10A, 10B).

### 5.2.2 Paleossolos Jundiá

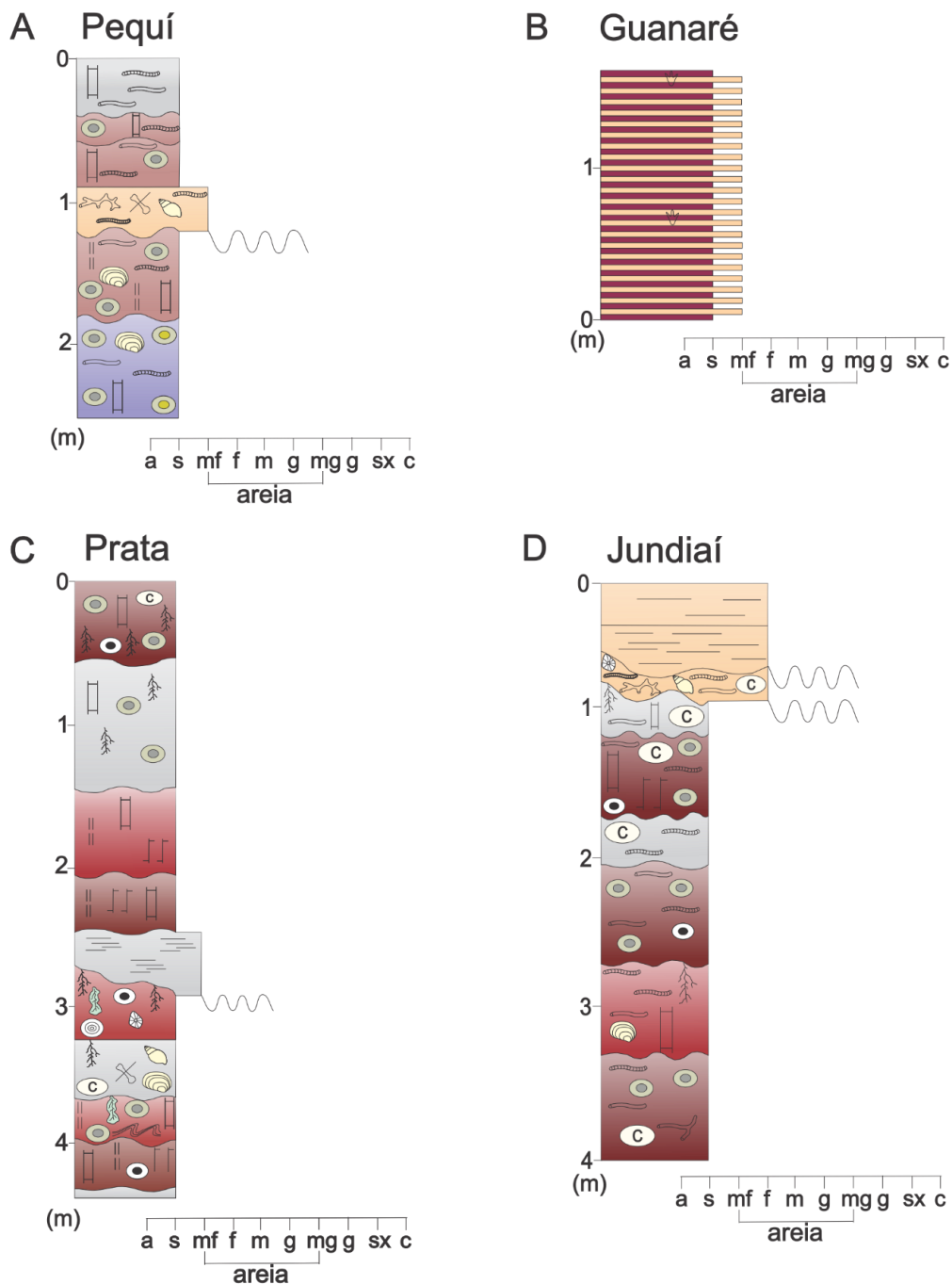
A espessura do afloramento é de 4,2 metros. Os paleossolos têm espessura de 3,8 metros, sendo compostos por seis horizontes. São constituídos de areia muito fina ou lama, e o contato entre os horizontes é transicional claro ou difuso e superfície ondulada a irregular. As cores divergem de tons de cinza esverdeado claro (10Y 8/1), vermelho úmido (7,5R 4/6), vermelho escuro (7,5R 3/4) e vermelho (7,5R 6/8). As estruturas características desses paleossolos são estruturas pedogênicas em blocos angulares fortes, pequenos e médios, argila de iluviação, cerosidade nítida, revestimentos de carbonato de cálcio e manganês sobre as estruturas pedogênicas, nódulos duros e arredondados e mosqueamentos de cor cinza esverdeada claro (10Y 8/1). Bioturbações de invertebrados são frequentes em todos os horizontes. Os rizólitos e bivalves articulados são limitados ao horizonte vermelho. Níveis de cimentação elevados ocorrem em horizontes com maior índice de bioturbação (Figuras 10C, 10D).

### 5.2.3 Paleossolos Prata

O afloramento Prata é organizado com uma sucessão de nove horizontes de paleossolos, possuindo espessura total de 4,8 metros. Os horizontes apresentam composição arenosa, lamosa e areno-lamosa, possuindo contatos transicionais claros, graduais ou planos e superfícies onduladas, abruptas ou irregulares. As cores incluem cinza claro (5GY 8/1), vermelho escuro (7,5R 3/4), vermelho (7,5R 4/6) e vermelho úmido (7,5R 4/6). Mosqueamentos de cor cinza esverdeado claro (10Y 8/1) são frequentes em horizontes avermelhados; além disso, estruturas pedogênicas em blocos angulares a subangulares, médios e fortes, argila de iluviação, nódulos de carbonato de cálcio, concreções e nódulos de óxido de ferro, revestimentos de manganês e cerosidade estão presentes nos paleossolos. Bioturbações de raízes, como rizoconcreções e rizohalos, e deformação do substrato por impacto são feições biogênicas também identificadas. Bivalves articulados e desarticulados, gastrópodes, fragmentos de ossos e escamas ocorrem associados a pontos esparsos e restritos de alta cimentação de carbonato de cálcio, em um horizonte de cor cinza claro (Figuras 10E, 10F).

Os perfis estratigráficos dos afloramentos analisados neste trabalho são apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Perfis sedimentológicos dos afloramentos estudados.



**LEGENDA**

Estrutura em bloco	Nódulos de Ferro	<i>Microcodium tipo a</i>
Filmes de Manganês	Concreções de Ferro	Relevos transmitidos
Cerosidade	<i>Caririchnium</i>	Fragmentos de ossos
Rizoconcreção Calcária	<i>Paleophycus</i>	Gastropodes
Rizohalos	<i>Taenidium</i>	Bivalves
Nódulo de calcita	<i>Planolites</i>	Laminação plano paralela
Mosqueamento 10Y8/1	<i>Thalassinoides</i>	Contato erosivo
Mosqueamento 2,5Y7/8	<i>Beaconites</i>	Escala 1:20

Fonte: Menezes, 2018

## 5.3 Icnologia

### 5.3.1 Icnotaxonomia de Invertebrados

Icnogênero. *Beaconites* Vyalov, 1962

Icnoespécie. *Beaconites* isp.

(Figura 12A)

Afloramento. Pequí

Descrição. Tubos cilíndricos, retos e curvos, não ramificados, verticais ou oblíquos à superfície estratal; exibem paredes simples e alinhadas preenchidas por óxido de ferro. Os meniscos são homogêneos, bem definidos e pouco empacotados. As dimensões dos tubos apresentam largura variando de 3 a 6 mm e o comprimento de 8 mm a 7 cm. Estão associados ao corpo de espraiamento de crevasse, próximo ao contato com os paleossolos e configuram um hiporrelevo côncavo (Figura 12A).

Discussão. São comuns os conflitos para diagnosticar icnotáxons dotados de meniscos internos. Alguns icnogêneros apresentam características morfológicas similares, como *Ancorichnus*, *Taenidium* e *Beaconites*. O que difere *Beaconites* de *Ancorichnus* são os meniscos simples, dotados de paredes lisas – as quais não estão presentes em *Ancorichnus* – e a presença de um manto externo em *Ancorichnus* (KEIGHLEY e PICKERILL, 1994). *Taenidium* corresponde a outro icnofóssil que apresenta forma meniscada, porém diverge de *Beaconites* pela ausência de paredes (KEIGHLEY e PICKERILL, 1994). Foram caracterizados traços fósseis de *Beaconites* no leque de crevasse do afloramento Pequí, por apresentar em sua estrutura morfológica paredes lisas preenchidas por óxido de ferro e meniscos.



Ichnogênero. *Taenidium* Heer, 1877

Ichnoespécie. *Taenidium* isp.

(Figuras 12B-12D)

Afloramentos. Jundiá e Pequí

Descrição. Escavação de orientação variegada, apresentando seguimentos retos, sinuosos e curvos, preenchido por material da camada de origem, com molde cilíndrico de largura variando de 2 a 3 mm; comprimento diverso e estrutura interna meniscada bem definida e ausência de paredes. Ocorre nos horizontes de solos e corpos arenosos do afloramento Jundiá sob a forma de relevo completo (Figuras 12B-12D).

Discussão. As características observadas nos espécimes acima descritos são correlacionáveis àquelas elencadas como diagnósticas do ichnogênero *Taenidium*. Esse icnotáxon apresenta estrutura simples, tubos com preenchimento, ausência de paredes e meniscos. Suas ichnoespécies são diferenciadas com base na variação do preenchimento dos meniscos (D'ALESSANDRO e BROMLEY, 1987; KEIGHLEY e PICKERILL, 1994). Outros ichnogêneros de invertebrados possuem características semelhantes às de *Taenidium*, no entanto, foram descartados pelos motivos que se seguem: *Ancorichnus* apresenta meniscos e não exibe estruturas lineares nas paredes; entretanto os tubos possuem dois estágios de preenchimento, um simples interno e outro formando um manto externo (HEINBERG, 1974; KEIGHLEY e PICKERILL, 1994); a ausência de paredes e revestimentos distingue *Taenidium* de *Beaconites* (KEIGHLEY e PICKERILL, 1994; HEINBERG, 1974); *Naktodemasis browni* foi proposto por Smith et al. (2008) e, embora não apresente um revestimento (assim como em *Taenidium*), distingue-se de *Taenidium* por apresentar preenchimento em série de pacotes descontínuos contendo meniscos finos e subparalelos. Os icnofósseis de *Taenidium* representados nos afloramentos Jundiá e Pequí, exibem condutos lineares a sinuoso, simples, com meniscos finos preenchidos por material homogêneo; suas dimensões são variadas e ramificadas e estão distribuídos principalmente nos horizontes de paleossolos.

Ichogênero *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

Ichoespécie *Thalassinoides* isp.

(Figura 12E)

Afloramentos. Jundiá e Pequí

Descrição. Escavações maciças e ramificadas em Y, com arranjos horizontais e oblíquos e interconexões dos tubos. A largura varia de 0,5 cm a 1 cm com alargamento nas junções entre os tubos; as paredes são lisas e o preenchimento ocorre de acordo com o material de origem. Seu modo de preservação e ocorrência em relação aos estratos é caracterizado como epirrelevo convexo e relevo completo, já que estão dispostos no interior das camadas. Esse ichogênero ocorre nos horizontes de paleossolos e depósitos arenosos de lençóis de areias e leque de crevasse (Figura 12E).

Discussão. *Thalassinoides* e *Ophiomorpha* são traços fósseis atribuídos a crustáceos que vivem em diferentes detritos nas sucessões sedimentares (BROMLEY, 1996). Ehrenberg (1944) caracterizou o ichogenero *Thalassinoides* como tubos cilíndricos a elípticos que formam redes ramificadas bidimensionais ou tridimensionais com eixos verticais ligados ao estrato superficial. No entanto, alguns ichogêneros apresentam morfologias semelhantes aos tubos de *Thalassinoides*. Autores como Kern e Warne (1974) e Bromley (1996) citam que as paredes dos tubos podem ser atributos diagnósticos do icnotáxon, já que alteram de acordo com a característica do substrato. *Ophiomorpha* apresenta tubos revestidos por pelotas de sedimentos descartados durante a escavação, ao contrário de *Thalassinoides*, onde os tubos apresentam paredes lisas. Os icnofósseis observados nos afloramentos mencionados foram atribuídos a *Thalassinoides* pela presença de tubos conectados, com arranjo em direções diversas e paredes lisas com ausência de pelotas.

Ichonôgênero. *Planolites* Nicholson, 1873

Ichonoespécie. *Planolites* isp.

(Figura 12F)

Afloramentos. Jundiáí e Pequí

Descrição. Tubos cilíndricos, retilíneos a sinuosos de orientação oblíqua ao plano de acamamento, paredes lisas e preenchimento divergente do material da matriz. O comprimento é variado e os túbulos apresentam larguras variando de 2 a 4 mm, consistindo em estrutura de relevo completo. Sua ocorrência está associada aos horizontes de paleossolos em ambos os afloramentos (Figura 12F).

Discussão. Segundo Nicholson (1873), *Planolites* consiste em bioturbações preenchidas por areia e lama, oriundas de vermes em busca de alimento. São semelhantes a *Palaeophycus* por compartilharem tubos sub-horizontais e meandros, raramente ramificados mas podendo entrecruzar-se e com dimensões variadas (KEIGHLEY e PICKERILL, 1995). A distinção dos icnotáxons, segundo Keighley e Pickerill, (1995) e Bromley (1996), relaciona-se à presença (*Palaeophycus*) ou ausência (*Planolites*) de revestimento nos tubos, com preenchimento de composição distinta ou igual à matriz (PEMBERTON e FREY, 1982). Os paleossolos apresentam abundância de traços fósseis. Neles, *Planolites* foi caracterizado por apresentar preenchimento tubular distinto ao material de origem e ausência de invólucro nas paredes, além de serem cilíndricos, sinuosos de orientação oblíqua.

Ícnogênero. *Palaeophycus* Hall, 1847

Ícnoespécie. *Palaeophycus* isp.

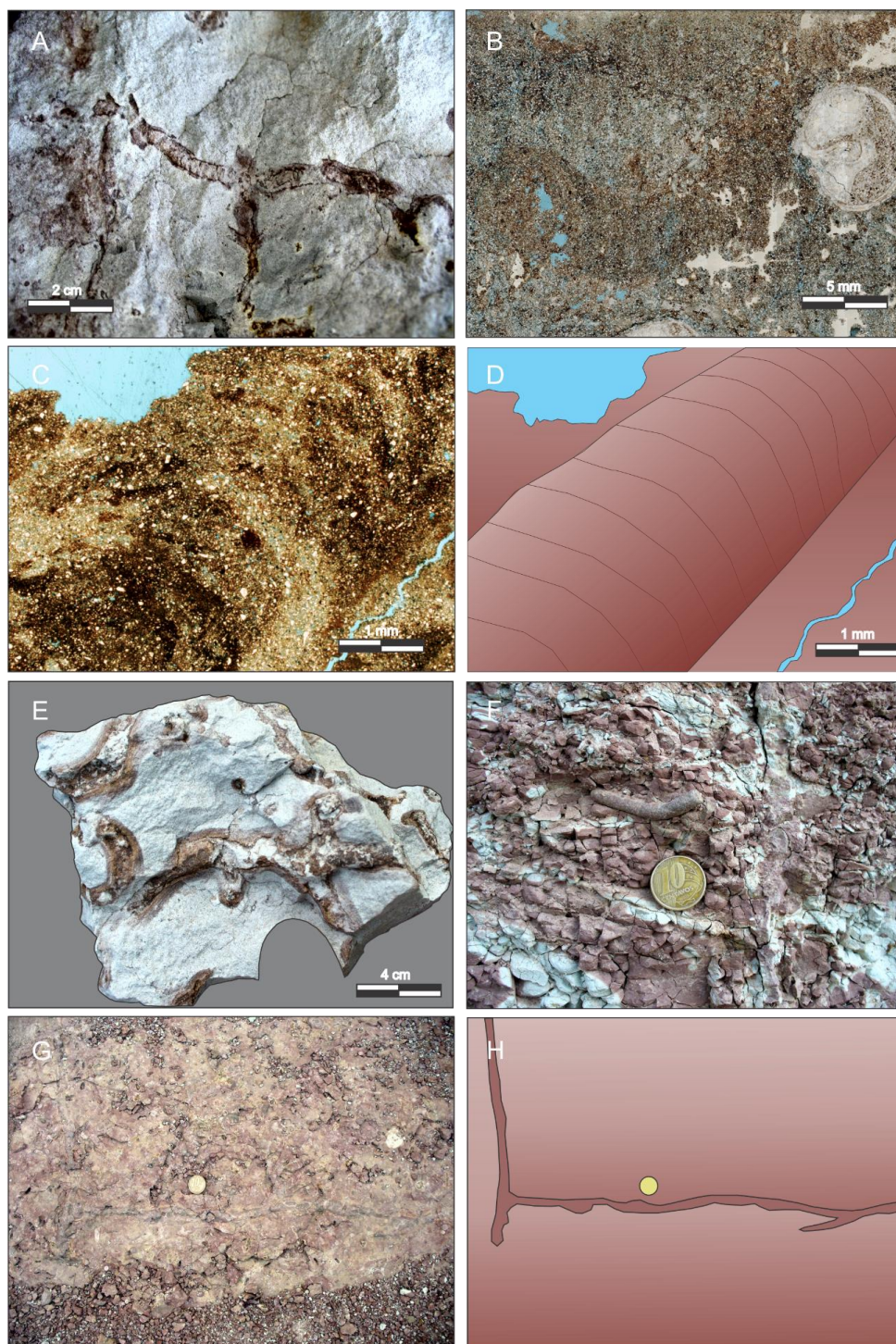
(Figuras 12G-12H)

Afloramento. Jundiáí

Descrição. Escavações horizontais a suavemente curvas em relação aos estratos, raramente bifurcadas, mas apresentando cruzamentos e interpenetrações; epi-relevo convexo de formato cilíndrico a irregular, apresentando largura de 2 mm; comprimento variado e preenchimento semelhante à rocha circundante (Figuras 12G, 12H).

Discussão. *Palaeophycus* é representado por tubos cilíndricos, alinhados e retilíneos, sem estrutura interna e preenchimento de mesma litologia da rocha de origem. São interpretados como tubos produzidos por invertebrados, especialmente anelídeos poliquetas, e são classificados dentro das classes etológicas de Pascichnia ou Domichnia (PEMBERTON e FREY, 1982; KEIGHLEY e PICKERILL, 1995). Como mencionado anteriormente, a diferença principal entre *Palaeophycus* e *Planolites* é a presença ou ausência de revestimento nos tubos (KEIGHLEY e PICKERILL, 1995). O conteúdo de preenchimento pode ser semelhante (*Palaeophycus*) ou discordante (*Planolites*) em relação à litologia do substrato (PEMBERTON e FREY, 1982). *Palaeophycus* foi assinalado no afloramento Jundiáí porque exhibe morfologia cilíndrica, não ramificada e com preenchimento dos tubos concordantes ao substrato.

Figura 12 - Icnocenose de invertebrados



Legenda: A) *Beaconites* preservado em arenito do afloramento Pequí, com meniscos e paredes preenchidos por óxido de ferro; B) *Taenidium* próximo a uma carapaça de gastrópode, visto em lâmina delgada; C) *Taenidium* visto em lâmina delgada apresentando tubo simples e menisco preenchido por óxido de ferro; D) Ilustração interpretativa da Figura 12C; E) *Thalassinoides* em arenito do afloramento Pequí; F) *Planolites* em paleossolos mosqueados do afloramento Jundiá; G) *Palaeophycus* com tubos retilíneos simples e entrecortados em paleossolos do afloramento Jundiá; H) Ilustração interpretativa da Figura 12G.

Fonte: Menezes, 2018

### 5.3.2 Iconotaxonomia de vertebrados

Iconogênero. *Caririchnium* Leonardi, 1984

Iconoespécie. *Caririchnium* isp.

(Figuras 13A-13B)

Localidade. Guanáre

Descrição. Pegada plantígrada isolada de autopódio posterior, preservada em um conjunto intercalar de arenito muito fino e lamito. Consiste em uma estrutura de bioturbação preservada sobre a forma de epirrelevo negativo, com dimensões de 37 cm de comprimento e 33 cm de largura. A pegada é tridáctila e pode ser classificada como mesoaxônica. O maior dígito (dígito III) exibe 16 cm de comprimento e 8 cm de largura; os outros dígitos (dígitos II e IV) apresentam 11 cm de comprimento por 8,3 cm de largura e 13 cm de comprimento por 8 cm de largura, respectivamente. Nas proximidades dos dígitos II e IV ocorrem superfícies de deformação. Marcas de garras são visíveis nos dígitos II e IV. Os hipex não são completamente visíveis na amostra (Figura 13A, 13B).

Discussão. Considerando a tridactilia da pegada, as medidas obtidas e a presença de marcas de garras, o espécime aqui descrito é compatível com as características elencadas como diagnósticas para o iconogênero *Caririchnium* Leonardi, 1984. As características diagnósticas para a atribuição iconoespecífica para muitas das iconoespécies deste iconogênero são observáveis apenas nos traços deixados pelos membros anteriores (LOCKLEY, 1987), os quais não estão preservados no afloramento estudado. Portanto, uma atribuição iconoespecífica ao espécime analisado não é possível. Por isso, atribui-se esta pegada a *Caririchnium* isp. Considerando apenas as características morfológicas da pegada posterior, é possível que o espécime pertença à iconoespécie *Caririchnium leonardii* Lockley, 1987.

## Deformação por pegada de Sauropoda (Dinosauria)

(Figura 13C)

Localidade. Prata

Descrição. A impressão descrita ocorre no afloramento Prata, o qual apresenta espessura de 95 cm. Os horizontes de paleossolos encontram-se deformados por uma feição isolada de carga, com dimensão de 46 cm de espessura e 53 cm de comprimento. Cada horizonte exibe dois relevos: as superfícies proximais, que subjazem os horizontes não deformados, apresentam epirrelevo côncavo; e a superfície distal, uma estrutura de hiporrelevo convexo que se sobrepõe a horizontes não deformados. As bioturbações no substrato deformado preservam sua estrutura morfológica original (Figura 13C).

Discussão. As estruturas de deformação são perturbações na camada que incluem deformações nas laminações deposicionais primárias, bem como novas estruturas desenvolvidas inteiramente pela atividade pós-deposicional (COLLINSON et al., 2006). O tipo de substrato e taxa de escape de fluido controlam o estilo de deformação. Estas estruturas podem ser abiogênicas ou biogênicas. Deformidades abiogênicas são atribuídas a feições de sobrecarga e chamas, que são alusivas à discrepância de densidade entre as camadas sobrepostas; e camadas ou laminações convolutas que são dobras atectônicas que ocorrem comumente em camadas individuais (COLLINSON et al., 2006). Estas estruturas ocorrem raramente isoladas e geralmente apresentam continuidade lateral (COLLINSON et al., 2006). Estruturas biogênicas são caracterizadas por atividades de organismos sobre ou dentro do substrato inconsolidado (FERNANDES et al., 2002). Dinossauros de grande porte, ao pisarem sobre o substrato inconsolidado, produzem estruturas similares às deformidades abiogênicas, entretanto estas deformações estão associadas a pegadas ou pistas (THULBORN, 2012) e apresentam rara continuidade lateral. A alteração vertical na continuidade dos horizontes na base do perfil do afloramento Prata é característica de deformação por carga oriunda de pegadas de vertebrados, provavelmente um dinossauro saurópode. Foi descrita como estrutura biogênica por apresentar deformação isolada ao longo do afloramento, sem continuidade lateral, com progressiva suavização da deformação, não sobreposta por camadas de maior densidade e pela proximidade com

afloramentos que apresentam a mesma feição associada a pegadas (MIRANDA e ROSSETTI, 2006). As estruturas reproduzidas pela topografia da pegada, embora não sejam pegadas, são formadas pela força de impacto da pata que é transmitida para o substrato (THULBORN, 2012). Na superfície proximal, cada horizonte apresenta epirrelevo côncavo correspondente à topografia da pegada, e a superfície distal é caracterizada por um hiporrelevo convexo, correspondente à topografia da sola (THULBORN, 2012). As camadas contorcidas abaixo da pegada são definidas por Thulborn (2012) como relevos transmitidos.

### 5.3.3 Rizólitos

Os rizólitos são traços fósseis produzidos por vegetais e encontrados globalmente em sedimentos pós-silurianos. Essas feições foram definidas por Klappa (1980) como estruturas organossedimentares produzidas por raízes, que fornecem evidências da interação entre o solo, a raiz e os microorganismos (KRAUS e HASIOTIS, 2006). Nos paleossolos, as marcas de raízes são comumente descritas e reconhecidas como produtos de exposição subaérea e pedogênese (SARJEANT, 1975; KLAPPA, 1980) bem como utilizadas para diagnosticar solos antigos na paleopedologia (CATT, 1990; RETALLACK, 2001).

As raízes são órgãos heterotróficos das plantas cujas principais funções são o suporte e a absorção de água e de nutrientes (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). O desenvolvimento de rizólitos revela a presença de uma rizosfera, ou seja, a interação entre o solo e atividades físicas, químicas e biológicas no entorno da raiz viva. A preservação de tal estrutura e de suas feições micromorfológicas depende da posição em que a calcificação ocorreu na rizosfera, nos organismos envolvidos e se a planta estava viva ou morta (WRIGHT et al., 1995; ALONSO-ZARZA, 1999).

Os processos envolvidos na formação dos rizólitos correspondem à cimentação do solo em torno das raízes vivas, preenchimento de vazios após a morte das raízes, calcificação dos tecidos radiculares, associação dos processos citados e a interação de raízes com outros organismos (JAILLARD et al., 1991; ALONSO-ZARZA, 1999). Cinco tipos de rizólitos foram identificados por Klappa (1980): 1) moldes de raízes, que são vazios que marcam a posição da raiz; 2) moldes



radiculares, moldes de raízes preenchidas por sedimento e/ou cimento; 3) túbulos radiculares, vazios tubiformes cimentados em torno de moldes radiculares; 4) rizoconcreções, acúmulos de minerais pedodiagenéticos que ocorrem em torno de raízes de plantas; e 5) petrificações radiculares, substituições minerais que preservam as características internas e externas da raiz. Kraus e Hasiotis (2006) propõem um novo tipo de rizólito, intitulado rizohalo, o qual consiste em zonas de empobrecimento de ferro e magnésio que se formam nas adjacências de um raiz de acordo com a variação da umidade no solo e decomposição.

### Rizohalos

(Figura 13D)

Localidade. Prata

Descrição. Esta estrutura foi descrita no sexto horizonte de paleossolos do afloramento Prata, que, por sua vez, apresenta caracteres como coloração avermelhada (7,5R 4/6), rizólitos em posição de vida, ausência de estruturas pedogênicas e revestimento por oxi-hidróxido de ferro. Os rizohalos seguem aspectos circulares e tubulares ou alongados verticalmente com ramificações laterais; além disso, ocorrem diferentes cores decorrentes da redução ou oxidação do ferro. As zonas são marcadas pelas cores vermelho fraco (5R 4/4) no centro, vermelho claro (7,5R 7/6) na porção mediana, e amarelo (10YR 7/6) no contorno externo. Os rizohalos possuem dimensões variadas, com comprimento variando de 8 a 24 cm e espessura de 2 a 4 cm (Figura 13D).

Discussão. O termo rizohalo foi inserido na literatura por Kraus e Hasiotis (2006) para descrever feições de depleção de ferro e manganês que se formam no entorno de raízes. Os aspectos genéticos de formação dos rizohalos estão associados a características redoximórficas, que implicam na redução, translocação e oxidação de elementos como ferro e manganês (KRAUS e HASIOTIS, 2006; LINDBO et al., 2010). A redução ocorre por ação de bactérias que decompõem a matéria orgânica sob condições anaeróbias. As raízes que crescem nos solos fornecem a fonte de matéria orgânica necessária para o processo de redução do Fe e Mn. Em um solo aeróbico, úmido e não saturado, os microorganismos utilizam o

O<sub>2</sub> nos poros para decompor a matéria orgânica, quando o solo se encontra saturado, ou seja, a maioria dos poros preenchidos por água. Os microorganismos consomem o O<sub>2</sub> dissolvido na água para decompor o tecido orgânico. O avanço da decomposição leva ao esgotamento de O<sub>2</sub>, tornando o ambiente anaeróbico; uma vez ausente, a matéria prima para o seguimento do processo é o nitrato (NO<sub>3</sub>) e posteriormente a redução do Fe e Mn (VEPRASKAS et al., 1994; KRAUS e HASIOTIS, 2006; VEPRASKAS, 2015). Os compostos orgânicos cedidos pelo tecido morto da raiz, se não estiverem dissolvidos em água no solo, serão decompostos e reduzidos próximos às raízes (VEPRASKAS, 2015). Os íons reduzidos de Mn e Fe são altamente solúveis e removidos da matriz. À medida que os elementos são retirados, a cor subjacente do grão mineral torna-se visível, criando zonas de depleção redox dentro dos horizontes. O material remobilizado é retido em zonas de enriquecimento em Fe e Mn, sendo conhecidas como concentrações redox (VEPRASKAS et al., 2006; LINDBO et al., 2010).

#### Rizoconcreções calcárias

(Figuras 13E-13F)

Localidades. Prata e Jundiá

Descrição. As rizoconcreções apresentam duas feições: a primeira é caracterizada por apresentar dimensões de 0,7 a 2 centímetros de diâmetro e comprimento variando de 3 a 16 centímetros, preenchidos por calcita microcristalina e com ramificações laterais e subverticais. Este tipo de rizoconcreção ocorre no horizonte de paleossolos de cor cinza claro (5GY8/1), com estruturas pedogênicas, mosqueamentos de cor cinza esverdeado claro (10Y8/1) e nódulos carbonáticos. A segunda feição incluem dimensões de 1,5 a 3 centímetros de diâmetro e 6 a 13 centímetros de comprimento. Apresentam estruturas tabulares, preenchidas por calcita microcristalina e óxido de ferro, bem como morfologia ramificada com raízes primárias que penetram perpendicularmente no solo e formam raízes secundárias mais finas, que crescem em direção oblíqua. As ramificações são cercadas por rizohalos. Esta segunda estrutura está associada a horizontes de paleossolos de coloração vermelho úmido (7R4/6) e nódulo de ferro. Ambas as feições foram

encontradas e descritas nos horizontes de paleossolos dos afloramentos Prata e Jundiá (Figuras 13E, 13F).

Discussão. As rizoconcreções são estruturas pedodiagnéticas no entorno de raízes de plantas, sem a preservação das estruturas anatômicas (Klappa, 1980). Os minerais acumulam-se como nódulos e concreções ao redor de canais radiculares, devido a ciclos de incursões periódicas de água, mais as altas taxas de evaporação repentina que trarão soluções supersaturadas nos poros, levando assim à precipitação de carbonato de cálcio (BRIAN JONES e KWOK-CHOI NG, 1988; PIPUJOL e BUURMAN, 1997; KRAUS e HASIOTIS, 2006). A atividade microbiana e a secreção das raízes levam ao aparecimento de ácido carbônico que pode dissolver parte do grão de carbonato nos sedimentos ou rocha (RETALLACK, 2001; ALONSO-ZARZA et al., 2008). Conseqüentemente, a união de tais mecanismos possibilita uma maior precipitação de carbonato de cálcio na rizosfera. Por fim, a instabilidade química da rizosfera com pequenas mudanças no pH, temperatura, concentração de solução e evapotranspiração causam processos de precipitação ou dissolução em torno das raízes (ALONSO-ZARZA et al., 2008).

*Microcodium* tipo a

(Figuras 13G-13H)

Localidades: Prata e Jundiá

Descrição. Os *Microcodium* apresentam duas morfologias distintas, como agregados de grãos e Corn-cob/Roseta. O primeiro é constituído de grupos de grãos prismáticos, concêntricos, isodiamétricos de formas ovaladas e irregulares, com tamanho variando de 1 a 3,2 milímetros. Os grãos têm cor castanho claro e apresentam extinção que varia de grão em grão. A segunda morfologia corresponde a grãos isolados, subesféricos, com prismas irradiando de um núcleo central de tamanho 0,2 milímetros. Os grãos apresentam cor castanho claro, com padrões de fraturas irregulares entre eles. Os *Microcodium* estão inseridos no estrato basal de arenitos do afloramento Jundiá e rizoconcreções do afloramento Prata. A frequência desta feição é baixa e limitada (Figuras 13G, 13H).

Discussão. As estruturas de *Microcodium* consistem em agregados celulares compostos de cristais individuais de calcita. Estes cristais piramidais ou prismáticos são poligonais em seção transversal e geralmente são fortemente alongados (ESTEBAN, 1974; FREYTET e PLAZIAT, 1982). São classificados por Esteban (1974) e Bodergat (1974) quanto às suas estruturas morfológicas: os *Microcodium* tipo *a* de Esteban (1974), ou tipo I e II de Bodergat (1974), são agregados cilíndricos (Corn-cob) ou esferas conectadas ou não conectadas, ambos com cristais de calcita distendidos e irradiados de um ponto central e estruturas lamelares constituídas por agregados não simétricos sequenciados linearmente; o *Microcodium* tipo *b* de Esteban (1974), ou tipo 3 de Bodergat (1974), é uma estrutura singular caracterizada por complexos de agregados de cristais isodiamétricos de tamanho inferior às demais estruturas. A explicação para a origem dos *Microcodium* é controversa e pode ser atribuída tanto a raízes (ALONSO-ZARZA et al., 1998; WRIGHT et al., 1995; ROSSI, 1997; JAILLARD et al., 1991; KOSIR, 2004) quanto a microorganismos (LUCAS e MONTENAT, 1967; BODERGAT, 1974; KLAPPA, 1978; KOBANOV et al., 2008). Neste artigo, utilizaremos os conceitos dos autores que defendem as características rizogênicas para formação dos *Microcodium*, ou seja, precipitação de carbonato de cálcio nas células parenquimais corticais radiculares de plantas terrestres que habitam substratos de ambientes palustres, lacustres e aluviais, muito presentes em sucessões do Cretáceo ao Quaternário (KLAPPA, 1978; WRIGHT et al., 1995; ALONSO-ZARZA et al., 1998; KOSIR, 2004). Optou-se por tal definição pelo fato de feições morfológicas de roseta terem sido encontradas associadas a rizoconcreções (ROSSI, 1997; KOSIR, 2004).